干旱区地理
ARID LAND GEOGRAPHY

doi:10.12118/j.issn.1000-6060.2020.01.22

2000—2015 年塔里木胡杨林国家级自然保护区 NPP 时空动态特征及其影响因素①

赵俊红[1,2]， 周华荣[1]， 卢雅焱[1,2]， 孙庆祥[1,2]
（1 中国科学院新疆生态与地理研究所,新疆 乌鲁木齐 830011； 2 中国科学院大学,北京 100049）

摘　要：以塔里木胡杨林国家级自然保护区为研究对象,基于植被 *NPP*、气象、土地利用/覆盖、河流等数据,采用趋势分析、Mann-Kendall 突变检验、地理探测器等方法,探究了塔里木胡杨林国家级自然保护区 2000—2015 年植被 *NPP* 时空变化特征及其影响因素。结果表明:(1) 在空间尺度上,塔里木胡杨林国家级自然保护区 2000—2015 年年均植被 *NPP* 为 32.25 gC·m^{-2}·a^{-1},变化范围在 5.16～303.87 gC·m^{-2}·a^{-1}之间;年均 *NPP* 呈现出以塔里木河干流为带向周边波动递减的空间分布特征。(2) 在时间尺度上,16 a 间保护区植被 *NPP* 呈现波动增长趋势,年均增加值为 0.523 8 gC·m^{-2}·a^{-1},在 2001—2002 年和 2011—2012 年出现突变性上升,2007—2008 年出现突变性下降。(3) 影响植被 *NPP* 分异的核心因素为土地利用/覆盖、蒸散发、降水、河流缓冲区等,且由多因子协同作用造成;同时,地下水埋深对植被 *NPP* 变化有着重要影响。

关 键 词： 净初级生产力; 时空分布; 地理探测器; 塔里木胡杨林国家级自然保护区

植被净初级生产力(Net Primary Productivity)是指在自然环境下,绿色植物通过光合作用在单位面积、单位时间内积累的有机物数量,是光合作用所产生的有机质总量扣除自养呼吸后的剩余部分[1]。*NPP* 作为陆地生态系统物质循环和能量流动的基础,表征陆地生态系统生产能力和质量状况,是评价陆地生态系统健康和可持续发展、估算地球支持能力的重要指标[2-4]。随着全球变化研究的不断深入,植被净初级生产力在研究全球变化对生态系统的影响、响应和对策中,成为一项不可缺少的重要指标。因此,研究植被 *NPP* 时空变化状况是评价生态系统健康程度及稳定性的重要内容,为全球性或区域性的生态环境问题研究提供了重要依据[5]。

NPP 作为反应陆地生态系统对全球变化响应的重要指标[6],是国内外学者长期关注的领域之一。目前,国内外学者的研究内容主要包括两方面:一是植被 *NPP* 动态演变特征,研究尺度从全球、全国到区域、省市均有涉及[2,7-10];国内学者的研究区域主要集中在长江黄河流域、西南地区、南方地区、东北地区、内蒙古地区等湿润半湿润地区[10-13],近年来干旱半干旱区植被 *NPP* 动态变化也受到学者[14-15]的关注和重视;二是植被 *NPP* 空间分异的影响机理研究,学者们主要选取气温、降水等影响因素,运用相关性分析、回归分析、SVD 分析等方法[10,14,16],分析各影响因素与植被 *NPP* 的相关性,揭示植被 *NPP* 空间分异的原因。纵观已有研究发现,多数文献基于大中尺度研究植被 *NPP* 时空演变趋势,往往忽略了保护区等小尺度植被 *NPP* 变化的细节特征与规律;此外,学者们对植被 *NPP* 的影响机理虽进行了广泛研究,但主要侧重单个或少数几个影响因素,缺少对影响因素重要程度及交互作用的研究。

塔里木胡杨林国家级自然保护区是世界上原始胡杨林生长最好、保存最完整的区域,是塔里木河流域重要的生态屏障,对于维护荒漠脆弱的生态平衡

① **收稿日期**:2019-05-12; **修订日期**:2019-08-19
基金项目:国家自然科学基金项目(41171157)
作者简介:赵俊红(1992-),女,硕士研究生,研究方向为干旱区环境评价与生态规划. E-mail:zhaojunhong16@mails.ucas.ac.cn
通讯作者:周华荣(1960-),男,博士,研究员,研究方向为环境评价与景观生态. E-mail:zhouhr@ms.xjb.ac.cn

具有重要的作用[17],研究全球气候变化背景下塔里木胡杨林国家级自然保护区植被 *NPP* 时空变化及其制约因素显得尤为重要。对此,我国学者开展了一系列的相关研究,但研究大多从保护区胡杨径向生长量[18]、植被覆盖[19]、胡杨种群结构与格局[20]等方面进行分析,对于保护区植被 *NPP* 空间分布特征及其影响因素并没有进行详细分析。基于此,本研究以 2000—2015 年逐月植被 *NPP* 数据为基础,综合应用趋势分析、Mann-Kendall 突变检验以及空间分析方法,对塔里木胡杨林国家级自然保护区植被 *NPP* 时空演变特征及其影响因素进行系统分析,以期为保护区生态系统健康诊断及保护管理成效评估提供科学依据。

1 研究区概况

塔里木胡杨林国家级自然保护区位于新疆巴音郭楞蒙古自治州尉犁县、轮台县、库尔勒市境内(图 1),地处塔克拉玛干沙漠北缘,位于我国最长内陆河——塔里木河的中游,英巴扎—喀尔曲尕段。保护区东西长 109.7 km,南北宽 47.1 km,总面积39.54 × 10^4 hm^2,是干旱荒漠区以胡杨林为主的森林生态系统类型自然保护区,属于塔克拉玛干戈壁荒漠、大陆性荒漠、半荒漠生物群落的典型代表。保护区属于典型的温带大陆性平原区荒漠气候,区内温差变化大,多年平均降水量为 45.2 mm,蒸发量却高达 1 887 ~ 2 910 mm,≥10 ℃年积温 4 040 ~ 4 210 ℃,年日照时数为 2 573.5 h,无霜期 218 d。

2 数据来源与研究方法

2.1 数据来源

植被 *NPP*、土地利用/覆盖数据来源于全球干旱生态系统国际大科学计划(Global-DEP)提供的数据产品,该产品从方法上把遥感数据、生态系统监测数据、野外调查数据及案例研究结合起来,逐月估算每月 *NPP*,空间分辨率为 250 m,时间跨度为 2000—2015 年。气温和降水数据来源于中国科学院资源环境科学数据中心(http://www.resdc.cn),该数据采用 ANUSPIN 插值,插值结果比协同克里金插值提高了 13.23%,比反距离加权法提高了 20.13%[21];气温和降水时间跨度为 2000—2015 年,时间分辨率为年,空间分辨率为 1 km。蒸散发数据来源于国家生态系统观测研究网络科技资源服务系统(http://rs.cern.ac.cn/),该数据集包括 1 ~ 12 月及全年蒸散发数据,空间分辨率为 1 km。土壤类型数据来源于寒区旱区科学数据中心(http://westdc.westgis.ac.cn/),根据 FAO-90 土壤分类系统,对土壤类型进行重分类。植被类型参考张新时主编的中华人民共和国植被图(1∶1 000 000),河流等基础数据来源于 1∶1 000 000 全国基础地理数据集。所有数据统一采用 Krasovsky_1940_Albers 投影坐标,通过重采样获取空间分辨率为 250 m 栅格数据。

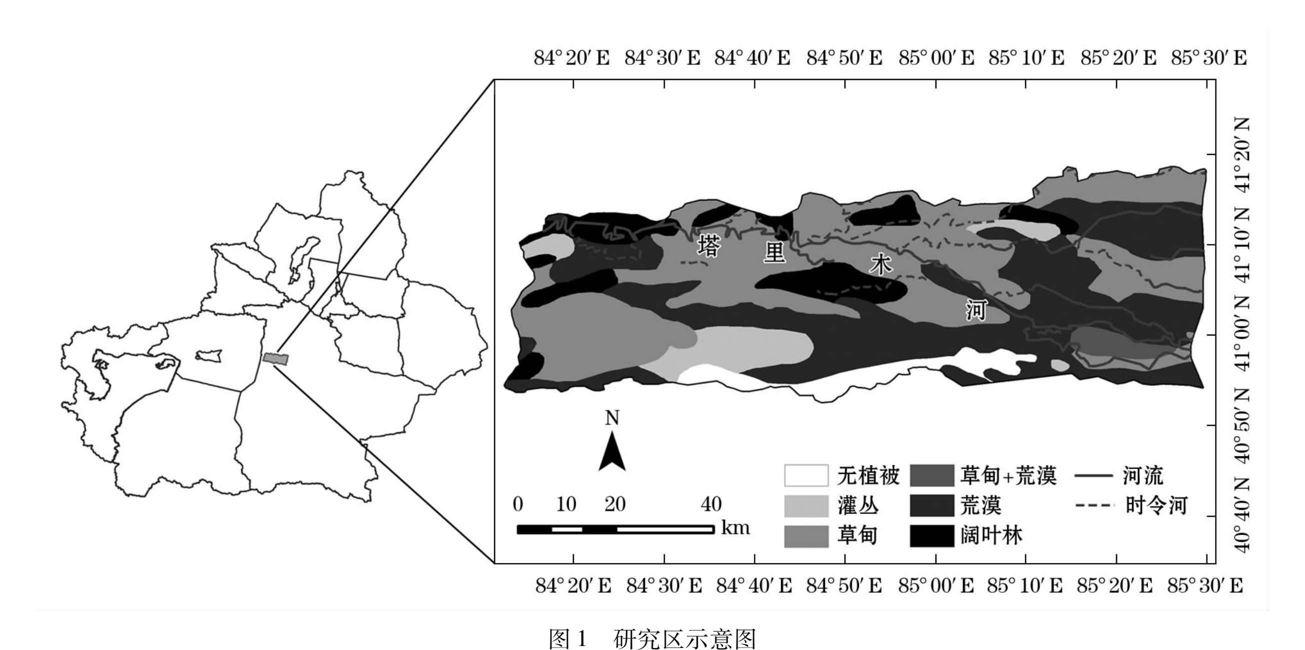


图 1 研究区示意图

Fig. 1 Location of the study area

2.2 研究方法

2.2.1 趋势分析法 以象元为基本单位，采用一元线性回归方程拟合 2000—2015 年共 16 a 的塔里木胡杨林国家级自然保护区年均 *NPP* 的变化趋势，反映不同年份植被 *NPP* 的变化趋势及特征，其计算公式为：

$$k_{slope}=\frac{n\times\sum_{i=1}^{n}\left(i\times NPP_i\right)-\sum_{i=1}^{n}i\sum_{i=1}^{n}NPP_i}{\sum_{i=1}^{n}i^2-\left(\sum_{i=1}^{n}i\right)^2}\qquad(1)$$

式中：k_{slope} 为单个象元多年回归的斜率；n 为年数；NPP_i 表示某一点象元第 i 年的 *NPP* 值，其中 $i=1,2,3,\cdots,16$。当 $K_{slope}>0$ 时，表示随时间 i 的增加，*NPP* 呈上升趋势；当 $k_{slope}<0$ 时，表示随时间 i 的增加，*NPP* 呈下降趋势；$|k_{slope}|$ 的值越大，表示 *NPP* 上升或下降的速率越大。利用 *NPP* 变化率表征 16 a 间 *NPP* 的变化程度，其计算公式为：

$$NPP_{change}=\frac{k_{slope}}{NPP_{mean}}\times n\times 100\%\qquad(2)$$

式中：NPP_{change} 以百分率来表示；NPP_{mean} 表示 2000—2015 年共 16 a 年平均 *NPP*；n 为年数。

2.2.2 Mann-Kendall 趋势分析及突变检验 Mann-Kendall 突变检验常用于分析气象数据时间序列趋势，采用 Mann-Kendall 突变检验分析塔里木胡杨林国家级自然保护区近 16 a 年均 *NPP* 的变化趋势，并分析其突变点。计算公式为：

$$d_k=\sum_{i}^{k}x_i\qquad(2\leqslant k\leqslant n)\qquad(3)$$

式中：n 为样本容量；x_i 为时间序列。d_k 的均值和方差分别为：

$$E(d_k)=k(k-0.25)\qquad(4)$$

$$Var(d_k)=\frac{k(k-1)(2k+5)}{72}\qquad(5)$$

标准化后得到 *UF*：

$$UF_{(k)}=\frac{d_k-E(d_k)}{\sqrt{Var(d_k)}}\qquad(6)$$

由公式(6)可以求出 *UF*，将年均 *NPP* 反向排列按照上述公式求出 *UB*，将 *UF*、*UB* 以及 $y=\pm1.96$（置信水平 $\alpha=0.05$）绘制成折线图。通过分析统计序列 *UF* 和 *UB* 可以进一步分析年均 *NPP* 在 2000—2015 年的变化趋势，而且可以明确突变的时间。如果 *UF* 和 *UB* 这两曲线出现交点，且交点在临界线 $y=\pm1.96$（置信水平 $\alpha=0.05$）之间，则交点对应的年份表示年均 *NPP* 开始突变的年份。若 $UF>0$，则表明该序列呈上升趋势，小于 0 则表明该序列呈下降趋势。同时，如果 *UF* 和 *UB* 的值均超过临界值，则表示变化趋势显著。

2.2.3 地理探测器分析方法 地理探测器是探测和利用空间分异性的工具，最早应用于疾病致病因素探测[22]。本研究采用因子探测器和交互探测器，对塔里木胡杨林国家级自然保护区植被 *NPP* 空间分异驱动因子进行分析。其中，因子探测器主要用于分析各影响因子对 *NPP* 的解释力的大小，公式如下：

$$P_{D,H}=1-\frac{1}{n\sigma_H^2}\sum_{i=1}^{m}\left(n_{D,i}\times\sigma_{H_{D,i}}^2\right)\qquad(7)$$

式中：$P_{D,H}$ 表示影响因子 D 对净初级生产力(*NPP*) H 的解释力；n 为整个研究区域样本量；σ_H^2 为整个区域 *NPP* 的离散方差；$n_{D,i}$ 为子区域内样本个数 $(i=1,2,3,\cdots,n)$；$\sigma_{H_{D,i}}^2$ 为子区域内 i 植被 *NPP* 的离散方差。$P_{D,H}$ 的取值范围为 [0,1]，P 值越大说明影响因子 D 对植被 *NPP* 的解释力越强。

交互探测器主要用于探测多个影响因子交互作用后对植被 *NPP* 的解释力，即影响因子 X_1 和 X_2 交互作用后是否会增强或减弱对植被 *NPP* 的解释力，主要类型如表 1 所示：

表 1 交互作用探测类型

Tab.1 Type of interactive detection

判断依据	交互作用
$P(X_1\cap X_2)<\mathrm{Min}(P(X_1),P(X_2))$	非线性减弱
$\mathrm{Min}(P(X_1),P(X_2))<P(X_1\cap X_2)<\mathrm{Max}(P(X_1),P(X_2))$	单因子非线性减弱
$P(X_1\cap X_2)>\mathrm{Max}(P(X_1),P(X_2))$	双因子增强
$P(X_1\cap X_2)=P(X_1)+P(X_2)$	独立
$P(X_1\cap X_2)>P(X_1)+P(X_2)$	非线性增强

3 结果分析

3.1 精度验证

对区域或全球尺度的 *NPP* 估算结果进行精度验证是保证模拟结果准确与否的前提工作之一。通常采用两种方法进行验证：一是与实测数据进行对比，二是将估算的 *NPP* 空间分布与他人在相同区域

采用其他模型计算的结果或遥感数据产品进行对比[15]。受胡杨林保护政策等影响,不宜对保护区胡杨林进行破坏,获取保护区实测生物量数据比较困难,因此通过参考单玲[23]、孜来汗·达吾提[24]以及木巴热克·阿尤普[25]的硕士学位论文中的实测生物量数据进行精度验证,其中木巴热克·阿尤普的生物量数据按照胡杨林生物量模型[26]计算得到,取碳转换系数0.475[7],得到 *NPP* 实测值。将 *NPP* 实测值与模拟值一一对应进行精度验证(图2),*NPP* 实测值与模拟值的相关系数为0.92($P < 0.01$),二者线性拟合曲线斜率为0.453 6,$R^2 = 0.846\ 6$($P < 0.001$),表明模拟值与实测值基本吻合。该结果表明本研究模拟值具有一定的可靠性。

将本研究*NPP*估算结果与前人研究结果对比如表2所示,本研究2000—2015年年均植被 *NPP* 在变化范围上略低于焦伟等的研究结果,略高于李军等的研究结果;焦伟等发现2000—2014年西北干旱区植被 *NPP* 呈波动增长的趋势,在2003年、2005年、2007年、2013年出现大的峰值,在2000年和2007年出现谷值,与本研究研究结果一致;整体上本研究的模拟值与不同学者采用不同方法计算得出的结果较为一致,该 CASA 模型可以很好的反映出塔里木胡杨林国家级自然保护区的植被 *NPP* 实际状态。

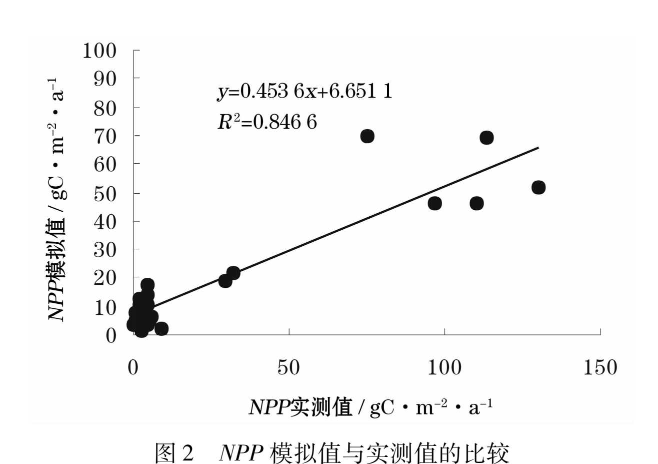


图2 *NPP* 模拟值与实测值的比较

Fig. 2 Comparison of simulation results and measured *NPP*

3.2 植被 *NPP* 的空间分布

2000—2015年塔里木胡杨林国家级自然保护区多年年均植被 *NPP* 变化范围为5.16~303.87 gC·m^{-2}·a^{-1},16 a平均值为32.25 gC·m^{-2}·a^{-1}。多年平均植被 *NPP* 以塔里木河干流为带向周边波动递减(图3)。

表2 同类研究结果对比

Tab. 2 Comparison of total *NPP* in this study and previous studies

研究时间	模型	*NPP* 变化区间	文献
2000—2015	CASA	5.16~303.87	本文
1981—2000	*NPP*-GPEM	0~250	[27]
2000—2014	CASA	0~400	[14]
2001—2014	MuSyQ-*NPP*	0~300	[16]
1981—2008	CASA	0~350	[28]
1982—2015	CASA	0~200	[29]

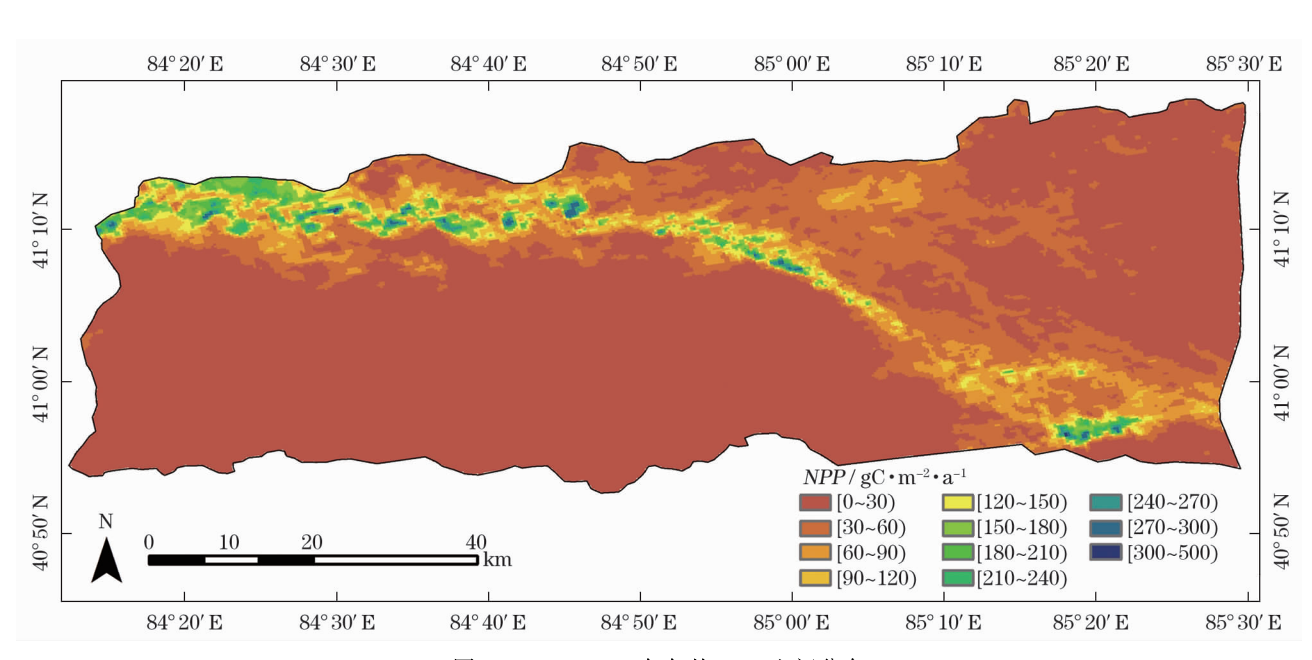


图3 2000—2015年年均 *NPP* 空间分布

Fig. 3 Spatial distribution of *NPP* from 2000 to 2015

通过分析塔里木胡杨林国家级自然保护区不同植被类型(除去无植被地带)年均植被 *NPP* 变化曲线(图4)可知:(1) 整体上看,保护区内不同植被类型的植被 *NPP* 均呈现增加趋势,草甸与荒漠混交区域以及阔叶林区域呈现出明显的波动增加趋势,其他植被类型呈现出缓慢增长趋势,这反映出草甸和阔叶林对干旱区环境变化更加敏感。(2) 各种植被类型的植被 *NPP* 变化趋势相近,在2003年和2013年均出现峰值,在2009年均出现谷值。(3) 各种植被类型中,阔叶林 *NPP* 在42.10~69.56 gC·m^{-2}·a^{-1}间波动增长,年增长率为1.22 gC·m^{-2}·a^{-1};草甸 *NPP* 变化范围在25.15~45.08 gC·m^{-2}·a^{-1}之间,增长率为0.84 gC·m^{-2}·a^{-1};灌丛和荒漠 *NPP* 均较小,变化范围均在20~35 gC·m^{-2}·a^{-1}之间,其增长率分别为0.06 gC·m^{-2}·a^{-1}和0.11 gC·m^{-2}·a^{-1}。

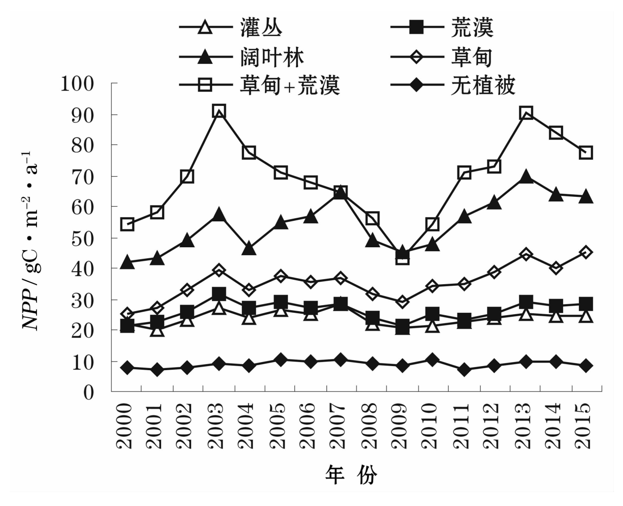


图4　2000—2015年不同植被类型 *NPP* 年际变化趋势

Fig. 4　Interannual changes of *NPP* in different biomes from 2000 to 2015

3.3　植被 *NPP* 的年际变化

2000—2015年,塔里木胡杨林国家级自然保护区植被 *NPP* 呈现出波动增加的变化趋势(图5),年均增加值为0.523 8 gC·m^{-2}·a^{-1}。于2003年、2007年、2013年出现大的峰值,于2000年、2009年出现大的谷值;最高值出现在2013年,其值为38.9 gC·m^{-2}·a^{-1};最低值出现在2000年,其值为24.55 gC·m^{-2}·a^{-1}。

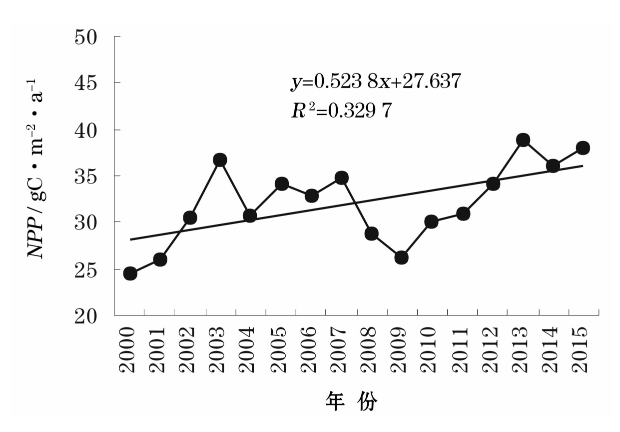


图5　2000—2015年年均 *NPP* 变化趋势

Fig. 5　Annual variation of average *NPP* from 2000 to 2015

利用一元线性回归方法得到塔里木胡杨林国家级自然保护区年均植被 *NPP* 变化率(图6)。分析

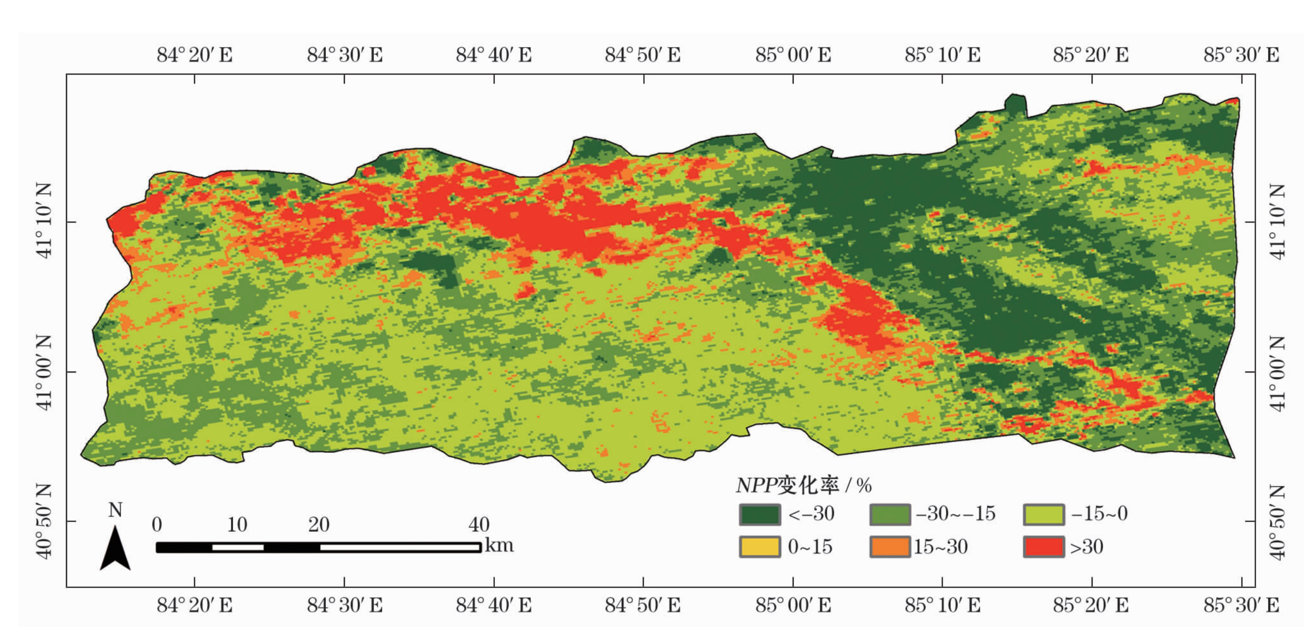


图6　2000—2015年年均 *NPP* 变化率

Fig. 6　*NPP* changing rates from 2000 to 2015

发现,2000—2015 年植被 *NPP* 变化率在 -15% ~ 15% 的区域占保护区总面积的 40.78%,>15% 的区域占保护区总面积的 16.12%,< -15% 的区域占保护区总面积的 43.1%,表明 16 a 间保护区植被 *NPP* 变化较为稳定。塔里木河干流的植被 *NPP* 呈明显上升趋势,大部分地区 *NPP* 变化率 >30%,主要植被有阔叶林和草甸;面积低于 -30% 的区域主要集中在保护区的东北部,主要植被类型为荒漠、草甸。

将塔里木胡杨林国家级自然保护区 2000—2015 年年均植被 *NPP* 值进行 Mann-Kendall 趋势分析和突变检验,算出统计量 $Z = 2.29 > 0$(置信水平 $\alpha = 0.05$),表明塔里木胡杨林国家级自然保护区年均植被 *NPP* 呈现增加趋势,图 7 中 *UF* 统计量代表植被 *NPP* 的 Mann-Kendall 顺序统计曲线,*UB* 统计量代表植被 *NPP* 的 Mann-Kendall 逆序统计曲线,0.05显著水平为临界线。由 *UF* 和 *UB* 曲线可知:塔里木胡杨林国家级自然保护区 2000—2015 年年均植被 *NPP* 的 *UF* >0,表明塔里木胡杨林国家级自然保护区年均植被 *NPP* 呈增加的趋势;*UF* 和 *UB* 曲线于 2001—2002 年和 2011—2012 年出现在临界线之间有两个明显的交点,表明胡杨林自然保护区年均植被 *NPP* 在 2001—2002 年和 2011—2012 年均出现突变性上升,分别增加了 4.46 $gC \cdot m^{-2} \cdot a^{-1}$ 和 3.15 $gC \cdot m^{-2} \cdot a^{-1}$;*UF* 和 *UB* 的值于 2007—2008 年均超过临界值,表明塔里木胡杨林年均植被 *NPP* 在 2007—2008 年有突变特征,突变年份之间的年均植被 *NPP* 下降了 5.96 $gC \cdot m^{-2} \cdot a^{-1}$。

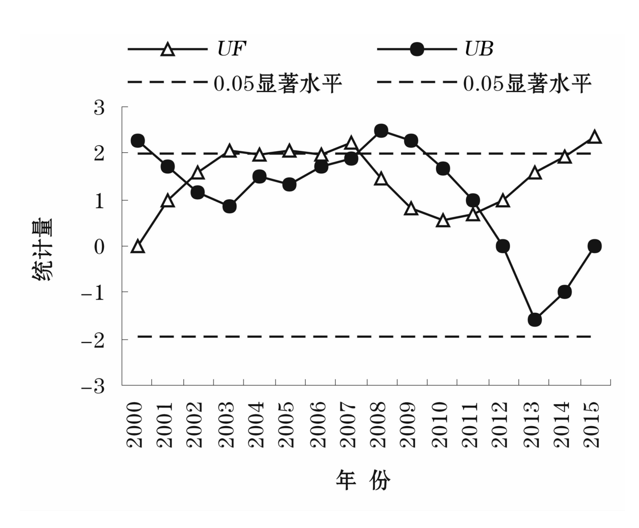


图 7　2000—2015 年年均 *NPP* 变化率

Fig. 7　*NPP* changing rates from 2000 to 2015

3.4　植被 *NPP* 空间差异影响因素分析

气候变化特别是降水和气温的变化,直接影响植物光合作用及新陈代谢而改变植被生产力[6]。不同土地利用/覆盖类型对应不同的土地生态系统结构,具有不同的植物生产功能[9]。不同土壤类型在颗粒状矿物质、有机物质、水分、空气和微生物等的不同,所产生的土壤肥力不同,直接影响植被生长状况[30]。同时,在塔里木河干流沿岸,径流是限制胡杨生长的主要因素[19]。据此,选取 2000—2015 年多年平均 *NPP* 作为被探测因子,选取气候因子(包括降水、气温和蒸散发因子)、土地利用/覆盖、河流缓冲区因子(距离河道的距离)、土壤类型作为解释因子。

对气候因子进行自然间断点分级聚类,对土地利用/覆盖以及土壤类型的分类采用相应的分类标准,河流因子根据缓冲区进行分类,采用地理探测器分析方法,得到各个解释因子对多年平均 *NPP* 动态变化的决定力 *P* 值及其显著性水平。

由表 3 可知:所有变量都通过了 0.01 水平显著性检验,表明上述因素对 *NPP* 均有显著的决定力。从决定力因子的大小来看:(1) 土地利用/覆盖对植被 *NPP* 变化影响作用最大,决定力达 0.5。土地利用/覆盖类型及面积决定了生态系统结构和功能,同时,土地利用/覆盖是决定该区域蒸散发的重要因素[20],对植被 *NPP* 有重要影响。(2) 在气候因子中,蒸散发及降水对植被 *NPP* 变化的决定力分别为 0.22 和 0.19;而气温对植被 *NPP* 变化的决定性较小,只有 0.07。蒸散发是影响区域水循环过程的重要因子之一,近年来该区域蒸散发出现增大趋势[31],直接影响了区域水资源时空配置与平衡。保护区近 82.61% 的地区与降水呈现正相关关系,植被 *NPP* 与降水呈高度正相关($0.5 < R \leqslant 1$)和中度正相关($0.3 < R \leqslant 0.5$)的区域的面积约占整个保护区面积的 49.21%。保护区约 63.02% 的区域与气温呈现弱相关关系,这可能是由于温度变化对胡杨生长的影响具有“滞后效应”,年平均温度的变化可

表 3　各影响因素对年均 *NPP* 的决定力地理探测结果

Tab. 3　Interactive impact of factors on average *NPP* with geographic detector analysis

	降水	气温	蒸散发	土地利用/覆盖	河流缓冲区	土壤类型
决定力	0.19	0.07	0.22	0.50	0.18	0.09
显著性水平	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

能影响下一年或者更长时间胡杨的生长[32]。(3)河流缓冲区因子对植被 *NPP* 变化影响较高,决定力为0.18。塔里木河干流荒漠河岸林的重要保护范围在0.8~12.3 km[33],结合 *NPP* 空间分布,对河流做8 km缓冲区,对时令河做2 km缓冲区,把河流缓冲区与多年平均植被 *NPP* 进行空间统计,发现河流缓冲区内植被 *NPP* 总量占保护区植被 *NPP* 总量的88.08%,平均值为45.06 gC·m^{-2}·a^{-1},约为全区植被 *NPP* 均值的1.4倍;其中,塔里木河干流植被 *NPP* 总量占保护区植被 *NPP* 总量的74.16%,平均值为56.20 gC·m^{-2}·a^{-1},约为全区年均 *NPP* 的1.7倍。(4)土壤类型对植被 *NPP* 变化影响较小,这是由于保护区土壤颗粒以粉粒和砂粒为主,胡杨在粉土及沙土中发育不良甚至衰败;土壤有机质含量最高为0.8%,土壤养分贫瘠;同时,土壤盐碱化是抑制胡杨萌发与生长的主要因素[34]。

植被 *NPP* 变化是多种因素相互作用的结果,因此需要进一步研究多种因素交互作用对植被 *NPP* 变化的影响。利用地理探测器进行了交互作用探测,探测结果(表4)表明:从交互作用的效果来看,保护区植被 *NPP* 变化影响因素交互作用主要表现为非线性增强和双因子增强,这说明任意两个因素交互后对植被 *NPP* 变化的决定力均会显著提升,也就是说保护区植被 *NPP* 的变化受到降水、气温、蒸散发、土地利用/覆盖、河流缓冲区、土壤类型等因子的共同制约,两个因素交互作用后的决定力明显高于原来单因素;从交互作用大小来看,降水∩土地利用(0.56)、蒸散发∩土地利用(0.56)以及土地利用∩土壤类型(0.56)交互后因子决定力最大,其次为气温∩蒸散发(0.55),这表明它们的交互作用相对于其他因子之间的交互作用较为显著。

在干旱区,地下水对于植物生长起着至关重要的作用,地下水位埋深影响着植被 *NPP* 的大小。因此,本研究利用徐梦辰等[20]在塔河中游监测断面实测数据,分析2001—2012年地下水位埋深与植被 *NPP* 的关系。从图8看出,除2007年以及2009—2012年外,其余年份地下水埋深与年均植被 *NPP* 总体上呈相反的变化趋势,即随着地下水位埋深的增加,年均植被 *NPP* 不断下降,2003年地下水位埋深最浅,年均 *NPP* 达到最大值;2001—2003年,地下水埋深保持在3 m左右,年均植被 *NPP* 在26~35 gC·m^{-2}·a^{-1}间波动;2003—2009年,地下水埋深持续增加,年均植被 *NPP* 从35 gC·m^{-2}·a^{-1}下降到26 gC·m^{-2}·a^{-1}。总体来说,地下水埋深的时间变化影响着植被 *NPP* 的年际动态变化。

3.5 讨论

胡杨林作为新疆干旱荒漠区河岸林的关键树种,对维持荒漠生态系统具有十分重要的作用。近年来,受生态输水的影响,塔河下游胡杨林不断恢复。相关研究表明,2016年塔里木河下游的英苏、喀尔达依、阿拉干以及依干不及麻断面生物量分别为626.306 kg·hm^{-2},208.632 kg·hm^{-2},555.085 kg·hm^{-2},276.428 kg·hm^{-2}[26],折算成 *NPP* 分

表4 植被 *NPP* 影响因子交互作用

Tab.4 Interactive impact of factors on *NPP*

$X_1 \cap X_2$	$P(X_1 \cap X_2)$	判断依据	交互作用
降水(0.19)∩气温(0.07)	0.46	$P(X_1 \cap X_2) > P(X_1) + P(X_2)$	非线性增强
降水(0.19)∩蒸散发(0.22)	0.43	$P(X_1 \cap X_2) > P(X_1) + P(X_2)$	非线性增强
降水(0.19)∩土地利用/覆盖(0.50)	0.56	$P(X_1 \cap X_2) > \mathrm{Max}(P(X_1), P(X_2))$	双因子增强
降水(0.19)∩河流缓冲区(0.18)	0.29	$P(X_1 \cap X_2) > \mathrm{Max}(P(X_1), P(X_2))$	双因子增强
降水(0.19)∩土壤类型(0.09)	0.35	$P(X_1 \cap X_2) > P(X_1) + P(X_2)$	非线性增强
气温(0.07)∩蒸散发(0.22)	0.55	$P(X_1 \cap X_2) > P(X_1) + P(X_2)$	非线性增强
气温(0.07)∩土地利用/覆盖(0.50)	0.57	$P(X_1 \cap X_2) = P(X_1) + P(X_2)$	独立
气温(0.07)∩河流缓冲区(0.18)	0.31	$P(X_1 \cap X_2) > P(X_1) + P(X_2)$	非线性增强
气温(0.07)∩土壤类型(0.09)	0.22	$P(X_1 \cap X_2) > P(X_1) + P(X_2)$	非线性增强
蒸散发(0.22)∩土地利用/覆盖(0.50)	0.56	$P(X_1 \cap X_2) > \mathrm{Max}(P(X_1), P(X_2))$	双因子增强
蒸散发(0.22)∩河流缓冲区(0.18)	0.29	$P(X_1 \cap X_2) > \mathrm{Max}(P(X_1), P(X_2))$	双因子增强
蒸散发(0.22)∩土壤类型(0.09)	0.40	$P(X_1 \cap X_2) > P(X_1) + P(X_2)$	非线性增强
土地利用/覆盖(0.50)∩河流缓冲区(0.18)	0.52	$P(X_1 \cap X_2) > \mathrm{Max}(P(X_1), P(X_2))$	双因子增强
土地利用/覆盖(0.50)∩土壤类型(0.09)	0.56	$P(X_1 \cap X_2) > \mathrm{Max}(P(X_1), P(X_2))$	双因子增强
河流缓冲区(0.18)∩土壤类型(0.09)	0.26	$P(X_1 \cap X_2) > \mathrm{Max}(P(X_1), P(X_2))$	双因子增强

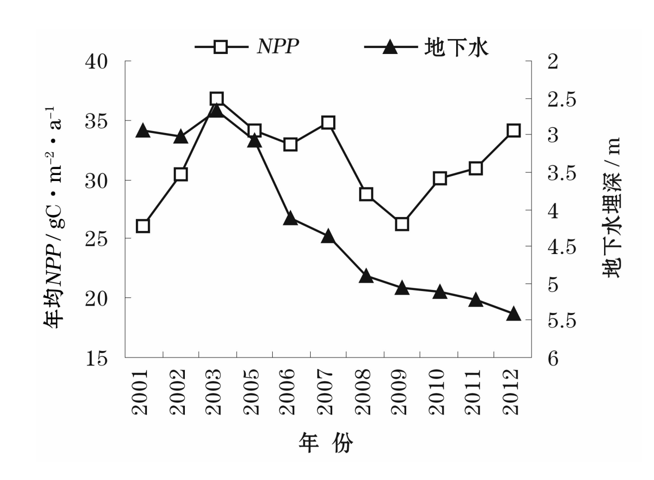


图 8　2001—2012 年地下水埋深与植被 *NPP* 的关系

Fig. 8　Relationship between groundwater depth and vegetation from 2001—2012

别为 29.75 gC·m^{-2}·a^{-1}、9.91 gC·m^{-2}·a^{-1}、26.37 gC·m^{-2}·a^{-1}、13.13 gC·m^{-2}·a^{-1},塔里木河下游 *NPP* 均值为 19.79 gC·m^{-2}·a^{-1},保护区 2000—2015 年多年年均 *NPP* 为 32.25 gC·m^{-2}·a^{-1},均高于下游 4 个断面的 *NPP*,这反映生态输水起到了积极作用,保护区的保护效果整体上较为良好。

生态系统中不同组分植被 *NPP* 可以反映其在生态系统中的重要性,我国不同森林类型植被 *NPP* 也存在差异,我国落叶针叶林、常绿针叶林、落叶阔叶林年均 *NPP* 分别为 438.8 gC·m^{-2}·a^{-1}、367.1 gC·m^{-2}·a^{-1}、642.9 gC·m^{-2}·a^{-1}[7],新疆天山以及阿尔泰山针叶林 *NPP* 在 200~400 gC·m^{-2}·a^{-1}[35]。研究区年均 *NPP* 为 32.25 gC·m^{-2}·a^{-1},变化范围在 5.16~303.87 gC·m^{-2}·a^{-1}之间,均低于落叶针叶林、常绿针叶林、落叶阔叶林等植被类型,也低于同属于干旱区的天山和阿尔泰山,这说明气候条件特别是降水是塔里木河植被生长发育的主要限制条件。黑河流域 2008—2014 年植被 *NPP* 变化范围在 0~560.5 gC·m^{-2}·a^{-1}之间,年均值介于 42.25~46.83 gC·m^{-2}·a^{-1}[36],研究区植被 *NPP* 演化状况与黑河流域较为接近。因此,在干旱区脆弱生态系统中,胡杨林对于森林生态系统物质与能量循环过程以及碳汇具有重要意义。

4　结 论

从保护区尺度出发,基于植被 *NPP*、气温、降水、土地利用/覆盖、河流等数据,采用趋势分析、Mann-Kendall、相关分析、地理探测器等方法,分析了塔里木胡杨林国家级自然保护区植被 *NPP* 时空分布及其差异,探测了影响植被 *NPP* 空间分异的因素,结果表明:

(1) 2000—2015 年塔里木胡杨林国家级自然保护区多年年均植被 *NPP* 在 5.16~303.87 gC·m^{-2}·a^{-1}之间呈波动增长趋势,平均值 32.25 gC·m^{-2}·a^{-1},年均值在 2013 年出现最大值,在 2000 年出现最小值。空间上,年均 *NPP* 呈现出以塔里木河干流为带向周边波动递减的空间分布特征。不同植被类型的年均 *NPP* 均呈增加趋势,在 2003 年和 2013 年出现峰值,在 2009 年出现谷值;各种植被类型中,阔叶林植被 *NPP* 最高,草甸次之,灌丛和荒漠 *NPP* 均较小;就增长速度而言,阔叶林年均 *NPP* 增长速度最快,其次为草甸,灌丛最慢。

(2) 保护区近 16 a 植被 *NPP* 呈现波动增长趋势,年均增加值为 0.523 8 gC·m^{-2}·a^{-1}。2000—2015 年间塔里木胡杨林植被 *NPP* 出现突变特征,在 2001—2002 年和 2011—2012 年均出现突变性上升,在 2007—2008 年有突变性下降。

(3) 决定保护区植被 *NPP* 空间差异的各因子重要程度依次为土地利用/覆盖、蒸散发、降水、河流、土壤类型、气温,说明土地利用/覆被变化对植被 *NPP* 变化影响最大,其次水资源条件是干旱区生态系统的关键因子,气温条件影响最小;同时,地下水埋深影响着植被 *NPP* 的年际动态变化。任何两个因子交互作用后,对植被 *NPP* 的解释力均大于单一因子的解释力,说明多因子协同作用造成塔里木胡杨林植被 *NPP* 的空间分异。

5　建 议

根据近 16 a 保护区植被 *NPP* 演化状况及其制约因素,对其生态恢复与保护提出以下几个建议:

(1) 加强塔河流域综合治理,优化塔河上、中、下游水资源配置,协调下游生态输水和中游生态需水。

(2) 加强保护区河流两侧地下水位动态监测,根据生态闸的位置、供水能力以及丰水期,开沟疏通河道、古河汊,实施引洪灌溉,促进保护区胡杨林等自然植被的恢复和更新。

(3)对于距离河道较远以及防护堤外的区域，可种植人工幼苗，以弥补自然成苗困难的局面。

参考文献(References)

[1] TWINE T E, KUCHARIK C J. Climate impacts on net primary productivity trends in natural and managed ecosystems of the central and eastern United States[J]. Agricultural and Forest Meteorology, 2009, 149(12): 2143 - 2161.

[2] RUNNING S W, NEMANI R R, HEINSCH F A, et al. A continuous satellite-derived measure of global terrestrial primary production[J]. Bioscience, 2004, 54(6): 547 - 560.

[3] LIU C, DONG X, LIU Y. Changes of *NPP* and their relationship to climate factors based on the transformation of different scales in Gansu, China[J]. Catena, 2015, 125: 190 - 199.

[4] PIAO S L, FANG J Y, CHEN A P. Seasonal dynamics of terrestrial net primary production in response to climate changes in China [J]. Acta Bot Sin, 2003, 45(3): 269 - 275.

[5] 郭连发，来全，伊博力，等. 2000—2014 年呼伦贝尔沙地河流湿地植被 *NPP* 时空变化及驱动力分析[J]. 水土保持研究，2017, 24(6): 267 - 272. [GUO Lianfa, LAI Quan, YI Boli, et al. Spatiotemporal changes of net primary productivity of river wetland and its driving factors in Hulun Buir sandy land in 2000—2014 [J]. Research of Soil and Water Conservation, 2017, 24(6): 267 - 272.]

[6] 艾则孜提约麦尔·麦麦提，玉素甫江·如素力，姜红，等. 2000—2014 年博斯腾湖流域 *NPP* 时空变化特征及影响因子分析[J]. 草业科学，2018, 35(7): 1743 - 1753. [MAIMAITI Aizezitiyuemaier, RUSULI Yusufujiang, JIANG Hong, et al. Spatio-temporal variations and impacting factors of vegetation *NPP* in the Bosten Lake Drainage Basin from 2004 to 2014[J]. Prataculturai Science, 2018, 35(7): 1743 - 1753.]

[7] 朱文泉，潘耀忠，张锦水. 中国陆地植被净初级生产力遥感估算[J]. 植物生态学报，2007, 31(3): 413 - 424. [ZHU Wenquan, PAN Yaozhong, ZHANG Jinshui. Estimation of net primary productivity of Chinese terrestrial vegetation based on remote sensing[J]. Chinese Journal of Plant Ecology, 2007, 31(3): 413 - 424.]

[8] 董丹，倪健. 利用 CASA 模型模拟西南喀斯特植被净第一性生产力[J]. 生态学报，2011, 31(7): 1855 - 1866. [DONG Dan, NI Jian. Modeling changes of net primary productivity of Karst vegetation in southwestern China using the CASA model[J]. Acta Ecologica Sinica, 2011, 31(7): 1855 - 1866.]

[9] 王芳，汪左，张运. 2000—2015 年安徽省植被净初级生产力时空分布特征及其驱动因素[J]. 生态学报，2018, 38(8): 2754 - 2767. [WANG Fang, WANG Zuo, ZHANG Yun. Spatio-temporal variations in vegetation net primary productivity and their driving factors in Anhui Province from 2000 to 2015[J]. Acta Ecologica Sinica, 2018, 38(8): 2754 - 2767.]

[10] 彭月月，魏妍冰，李启权，等. 气候和土地利用变化对成都市植被 *NPP* 时空分布的影响[J]. 西南大学学报(自然科学版)，2018, 40(11): 150 - 159. [PENG Yueyue, WEI Yanbing, LI Qiquan, et al. The effects of changes in climate and land use on the spatio-temporal distribution of vegetation *NPP* in Chengdu[J]. Journal of Southwest University (Natural Science Edition), 2018, 40(11): 150 - 159.]

[11] 邱玥，范德芹，赵学胜，等. 中国东北地区植被 *NPP* 时空变化及其对物候的响应研究[J]. 地理与地理信息科学，2017, 33(5): 21 - 27. [QIU Yue, FAN Deqin, ZHAO Xuesheng, et al. Spatio-temporal changes of *NPP* and its responses to phenology in northeast China[J]. Geography and Geo-Information Science, 2017, 33(5): 21 - 27.]

[12] 张亚玲，苏惠敏，张小勇. 1998—2012 年黄河流域植被覆盖变化时空分析[J]. 中国沙漠，2014, 34(2): 597 - 602. [ZHANG Yaling, SU Huimin, ZHANG Xiaoyong. The spatial-temporal changes of vegetation restoration in the Yellow River Basin from 1998 to 2012[J]. Journal of Desert Research, 2014, 34(2): 597 - 602.]

[13] 穆少杰，李建龙，周伟，等. 2001—2010 年内蒙古植被净初级生产力的时空格局及其与气候的关系[J]. 生态学报，2013, 33(12): 3752 - 3764. [MU Shaojie, LI Jianlong, ZHOU Wei, et al. Spatial-temporal distribution of net primary productivity and its relationship with climate factors in Inner Mongolia from 2001 to 2010 [J]. Acta Ecologica Sinica, 2013, 33(12): 3752 - 3764.]

[14] 焦伟，陈亚宁，李稚. 西北干旱区植被净初级生产力的遥感估算及时空差异原因[J]. 生态学杂志，2017, 36(1): 181 - 189. [JIAO Wei, CHEN Yaning, LI Zhi. Remote sensing estimation and the reasons for temporal-spatial differences of vegetation net primary productivity in arid region of northwest China[J]. Chinese Journal of Ecology, 2017, 36(1): 181 - 189.]

[15] 潘竟虎，黄克军，李真. 2001—2010 年疏勒河流域植被净初级生产力时空变化及其与气候因子的关系[J]. 生态学报，2017, 37(6): 1888 - 1899. [PAN Jinghu, HUANG Kejun, LI Zhen. Spatio-temporal variation in vegetation net primary productivity and its relationship with climatic factors in the Shule River Basin from 2001 to 2010[J]. Acta Ecologica Sinica, 2017, 37(6): 1888 - 1899]

[16] 刘刚，孙睿，肖志强，等. 2001—2014 年中国植被净初级生产力时空变化及其与气象因素的关系[J]. 生态学报，2017, 37(15): 4936 - 4945. [LIU Gang, SUN Rui, XIAO Zhiqiang, et al. Analysis of spatial and temporal variation of net primary productivity and climate controls in China from 2001 to 2014[J]. Acta Ecologica Sinica, 2017, 37(15): 4936 - 4945.]

[17] 陈亚鹏，陈亚宁，李卫红，等. 塔里木河下游干旱胁迫下的胡杨生理特点分析[J]. 西北植物学报，2004, 24(10): 1943 - 1948. [CHEN Yapeng, CHEN Yaning, LI Weihong, et al. Analysis on the physiological characteristic of *Populus euphratica* under drought stress in the lower reaches of Tarim River[J]. Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica, 2004, 24(10): 1943 - 1948.]

[18] 苟晓霞，叶茂，汪亮亮，等. 塔里木河干流胡杨径向生长对地表径流变化的响应[J]. 植物学报，2018, 53(6): 801 - 811. [GOU Xiaoxia, YE Mao, WANG Liangliang, et al. Response of radial growth of *Populus euphratica* to runoff in the Tarim River[J]. Chinese Bulletin of Botany, 2018, 53(6): 801 - 811.]

[19] 闫俊杰，吕光辉，徐海量，等. 2000—2014 年塔里木河干流的植被覆盖与蒸散发时空变化及其关系[J]. 水土保持通报，2018, 38(3): 248 - 255. [YAN Junjie, LYU Guanghui, XU Hailiang, et al. Spatial-temporal variations in vegetation cover and evapotranspi-

ration and their relationship in Tarim River during 2000—2014 [J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2018, 38(3): 248 – 255.]

[20] 徐梦辰,陈永金,刘加珍,等. 塔里木河中游水文影响下的胡杨种群格局动态[J]. 生态学报,2016,36(9):2646 – 2655. [XU Mengchen, CHEN Yongjin, LIU Jiazhen, et al. The distribution pattern dynamics of *Populus euphratica* are influenced by hydrology in the middle reaches of Tarim River[J]. Acta Ecologica Sinica, 2016, 36(9): 2646 – 2655.]

[21] 任璇,郑江华,穆晨,等. 不同气象插值方法在新疆草地 *NPP* 估算中的可靠性评价[J]. 草业科学,2017,34(3):439 – 448. [REN Xuan, ZHENG Jianghua, MU Chen, et al. Evaluating reliability of grassland net primary productivity estimates using different meteorological interpolation methods[J]. Pratacultural Science, 2017, 34(3): 439 – 448.]

[22] WANG J F, LI X H, CHRISTAKOS G, et al. Geographical detectors-based health risk assessment and its application in the neural tube defects study of the Heshun region, China[J]. International Journal of Geographical Information Science, 2010, 24(1): 107 – 127.

[23] 单玲. 芦苇生物量及其土壤碳氮垂直分布规律性的研究——以塔里木胡杨林保护区为例[D]. 乌鲁木齐:新疆大学,2007. [SHAN Ling. The research on regularity of vertical distribution of *Phragmites australis* biomass, soil organic carbon and total nitrogen-an example of Tarim River *Populus* reserve[D]. Urumqi: Xinjiang University, 2007.]

[24] 孜来汗·达吾提. 塔里木河中游胡杨林地上生物量研究[D]. 乌鲁木齐:新疆大学,2011. [DAWUTI Zilaihan. A study on above-ground biomass of Tughai forests in middle reaches of the Tarim River[D]. Urumqi: Xinjiang University, 2011.]

[25] 木巴热克·阿尤普. 河岸胡杨林不同生长状况下的土壤、地下水特征研究[D]. 乌鲁木齐:新疆大学,2007. [AYOUPU Mubareke. Study on the soil, groundwater characteristics of *Peuphratica* with different growth status[D]. Urumqi: Xinjiang University, 2007.]

[26] 王希义,徐海量,潘存德,等. 塔里木河下游胡杨生物量及其空间分布特征[J]. 西北植物学报,2016,36(11):2314 – 2321. [WANG Xiyi, XU Hailiang, PAN Cunde, et al. Spatial distribution of *Populus euphratica* biomass in the lower reaches of Tarim River [J]. Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica, 2016, 36(11): 2314 – 2321.]

[27] 刘卫国,魏文寿,刘志辉. 新疆气候变化下植被净初级生产力格局分析[J]. 干旱区研究,2009,26(2):206 – 211. [LIU Weiguo, WEI Wenshou, LIU Zhihui. *NPP* change in vegetation in Xinjiang under climate change[J]. Arid Zone Research, 2009, 26(2): 206 – 211.]

[28] 朱士华,艳燕,邵华,等. 1980—2014 年中亚地区植被净初级生产力对气候和 CO_2 变化的响应[J]. 自然资源学报,2017,32(11):1844 – 1856. [ZHU Shihua, YAN Yan, SHAO Hua, et al. The responses of the net primary productivity of the dryland ecosystems in Central Asia to the CO_2 and climate changes during the past 35 years[J]. Journal of Natural Resources, 2017, 32(11): 1844 – 1856.]

[29] LI J, WANG Z, LAI C, et al. Response of net primary production to land use and land cover change in mainland China since the late 1980s[J]. Science of the Total Environment, 2018, 639: 237 – 247.

[30] 王耀斌,赵永华,韩磊,等. 2000—2015 年秦巴山区植被净初级生产力时空变化及其趋动因子[J]. 应用生态学报,2018,29(7):2373 – 2381. [WANG Yaobin, ZHAO Yonghua, HAN Lei, et al. Spatiotemporal variation of vegetation net primary productivity and its driving factors from 2000 to 2015 in Qinling-Daba Mountains, China[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2018, 29(7): 2373 – 2381.]

[31] 李宝富,陈亚宁,李卫红,等. 基于遥感和 SEBAL 模型的塔里木河干流区蒸散发估算[J]. 地理学报,2011,66(9):1230 – 1238. [LI Baofu, CHEN Yaning, LI Weihong, et al. Remote sensing and the SEBAL model for estimating evapotranspiration in the Tarim River[J]. Acta Geographica Sinica, 2011, 66(9): 1230 – 1238.]

[32] 苟晓霞,叶茂,汪亮亮,等. 塔里木河上游河岸胡杨径向生长对温度的敏感性[J]. 干旱区研究,2018,35(4):899 – 904. [GOU Xiaoxia, YE Mao, WANG Liangliang, et al. Sensitivity of radial growth of *Populus euphratica* to temperature in the upper reaches of the Tarim River[J]. Arid Zone Research, 2018, 35(4): 899 – 904.]

[33] 白元,徐海量,刘新华,等. 塔里木河干流荒漠河岸林的空间分布与生态保护[J]. 自然资源学报,2013,28(5):776 – 785. [BAI Yuan, XU Hailiang, LIU Xinhua, et al. Spatial distribution characteristics and ecological protection of the desert riparian forest in the mainstream of the Tarim River[J]. Journal of Natural Resources, 2013, 28(5): 776 – 785.]

[34] 钟家骅,管文轲,易秀,等. 荒漠化地区土壤理化性质及其对胡杨林生长的影响[J]. 水土保持研究,2018,25(4):134 – 138. [ZHONG Jiahua, GUAN Wenke, YI Xiu, et al. Soil physical and chemical properties and their effects on *Populus euphratica* growth in desertification-prone Areas[J]. Research of Soil and Water Conservation, 2018, 25(4): 134 – 138.]

[35] 程曼,王让会,薛红喜,等. 干旱对我国西北地区生态系统净初级生产力的影响[J]. 干旱区资源与环境,2012,26(6):1 – 7. [CHENG Man, WANG Ranghui, XUE Hongxi, et al. Effects of drought on ecosystem net peimary production in northwestern China [J]. Journal of Arid Land Resources and Environment, 2012, 26(6): 1 – 7.]

[36] 宋艺,李小军,江涛. 2008—2014 年植被覆盖变化对黑河流域净初级生产力的影响研究[J]. 水土保持研究,2017,24(4):204 – 209,218. [SONG Yi, LI Xiaojun, JIANG Tao. Effects of vegetation coverage change on net primary productivity of Heihe River Basin during 2008—2014[J]. Research of Soil and Water Conservation, 2017, 24(4): 204 – 209, 218.]

Temporal-spatial characteristics and influencing factors of the vegetation net primary production in the National Nature Reserve of *Populus euphratica* in Tarim from 2000 to 2015

ZHAO Jun-hong[1,2], ZHOU Hua-rong[1], LU Ya-yan[1,2], SUN Qing-xiang[1,2]

(1 *Xinjiang Institute of Ecology and Geography*, *CAS*, *Urumqi* 830011, *Xinjiang*, *China*;
2 *University of Chinese Academy of Science*, *Beijing* 100049, *China*)

Abstract: Net Primary Productivity (*NPP*) is an important indicator to characterize the production capacity and quality of terrestrial ecosystems. Previous studies are mainly based on large and middle scale units and pay more attention to semi-humid and humid areas, therefore we select National Nature Reserve of *Populus euphratica* in Tarim Basin, Xinjiang, China as the study area. Based on the *NPP*, climate, land use/land cover, river data and using trend analysis, Mann-Kendall test, correlation analysis and geographical detector methods, this paper analyzed the temporal-spatial characteristics and influencing factors of the vegetation *NPP* in the National Nature Reserve of *Populus euphratica* in Tarim from 2000 to 2015. The results are as follows: First, the average vegetation *NPP* from 2000 to 2015 was 32.25 $gC \cdot m^{-2} \cdot a^{-1}$ and ranged from 5.16 – 303.87 $gC \cdot m^{-2} \cdot a^{-1}$. The average *NPP* was declined as the belt form from the two wings of Tarim River to the place far away from the river. Different vegetation types contribute differently to annual vegetation *NPP* growth, and *NPP* tended to increase the most for broadleaf forest, but least for shrublands. Second, the *NPP* followed an overall trend of fluctuating growth with 0.523 8 $gC \cdot m^{-2} \cdot a^{-1}$ every year. The *NPP* had a sharp growth trend during the period from 2001 to 2002 and the period from 2011 to 2012 and drastically reduced during the period from 2007 to 2008. Last, there are many factors affecting *NPP*, mainly including land use/land cover, evapotranspiration, precipitation and river buffer zone, and the *NPP* changes were mainly caused by the synergistic effect of multiple factors. The groundwater depth had a significant influence on vegetation *NPP*. This study provides decision support for the ecological environment protection and governance of National Nature Reserve of *Populus euphratica* in Tarim Basin, and provides a reference frame for maintaining the ecosystem sustainability of the green ecological corridor in Tarim River.

Key words: net primary productiuity; temporal-spatial distribution; geodetector; National Nature Reserve of *Populus euphratica* in Tarim